

**REFORMULACIÓN SISTEMA METROPOLITANO DE TRANSPORTE URBANO DE  
QUITO PRIMERA LÍNEA DE METRO DE QUITO**

**(2882-OC-EC y 2882-OC-EC-1)**

**ACTUALIZACIÓN DEL ANÁLISIS COSTO BENEFICIO EX-ANTE DEL SISTEMA DE  
TRANSPORTE METROPOLITANO DE QUITO**

**Nota técnica**

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	3
2. MODELO ORIGINAL .....	3
3. DATOS DE PARTIDA EMPLEADOS EN LA ACTUALIZACIÓN DEL MODELO .....	4
4. ACTUALIZACIÓN VALOR DE CAPEX.....	5
5. VALOR DE OPEX .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6. RESULTADOS DE LA ACTUALIZACIÓN DEL MODELO.....	5
7. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....	6
8. ANÁLISIS ADICIONALES.....	8
9. CONCLUSIONES.....	10

## 1. INTRODUCCIÓN

Con el motivo de la operación de financiación suplementaria para el Sistema Metropolitano de Transporte Urbano de Quito, solicitado por el Gobierno de Ecuador (GdE), se realizaron distintos estudios de preparación, entre ellos, la actualización de la evaluación económica del proyecto. El principal motivo para la actualización de dicha evaluación radica en el hecho de que los valores para contratar la infraestructura y el material rodante estuvieron por encima de los presupuestos inicialmente previstos.

Para la actualización del estudio se consideraron las siguientes modificaciones:

- Cronograma y valor del CAPEX
- Actualización del OPEX
- Actualización de variables macroeconómicas
- Cálculo de los beneficios asociados a la reducción de la polución (Material Particulado)

El modelo consideró dos escenarios de OPEX. Se realizó un análisis de sensibilidad variando el valor actualizado del CAPEX y el valor estimado de la demanda. Por último, se realizó un análisis considerando metodologías adicionales para el cálculo del valor del tiempo tasa de descuento del modelo.

Dado que el estudio movilidad para Quito se realizó en 2010, el cálculo de beneficios del modelo se soporta en la demanda esperada para 2016. Lo anterior puede representar una subestimación de los beneficios en la medida en que el número de viajes en la ciudad presumiblemente será mayor en 2020.

## 2. MODELO ORIGINAL

Para la elaboración del [Estudio original de Viabilidad Socio-Económica de la Primera Línea de Metro Quito](#)<sup>1</sup> se realizó un primer Análisis Costo-Beneficio tradicional (ACB) el cual se enmarca dentro de la operación EC-L1111. En la primera etapa de éste se consideraron los beneficios y costos del proyecto cuantificables monetariamente, aunque fuera de forma indirecta, mediante la técnica de precios sombra. Este análisis comienza con la definición de la situación base o sin proyecto. En dicho estudio se describe en detalle el contexto del incluyendo una proyección de lo que se daría en ausencia del proyecto, con el consiguiente crecimiento esperable del tráfico en vehículo particular, lo que conduciría a un empeoramiento de la congestión en el transporte urbano en la ciudad de Quito, así como a mayores niveles de contaminación.

La siguiente etapa del análisis del modelo original consistió en la modelización del escenario con proyecto, que adopta parámetros diferentes para cada una de las alternativas

---

<sup>1</sup> En el 2010 por solicitud de la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas, la empresa Metro de Madrid, S.A. elaboró el *Estudio de Factibilidad de la Primera Línea de Metro de Quito*. Dicho estudio fue actualizado en el 2012 por especialistas del BID considerando el Estudio de Movilidad y Demanda.

estudiadas.<sup>2</sup> [La revisión de dicho estudio](#)<sup>3</sup>, realizada en 2012, resultó con una TIR del 18.35%. Se realizó un análisis de sensibilidad en el estudio original considerando diferentes variaciones simultáneas tal y como se aprecia en la Tabla 1.

**Tabla 1: Evaluación Socio-Económica de la Primera Línea de Metro de Quito  
Resultados del Análisis de Sensibilidad (Modelo Original)**

PARÁMETROS Variaciones Simultáneas	Tasa Interna de Retorno	
	TIR (ACB)	TIR (ACB+AS)
Inversión en Infraestructura (30%), Costos de Explotación (40%)	18,35%	12,9%
Valor del Tiempo (-30%), Viajeros del Metro (-20%)		13,5%
Efecto de la Descongestión (17%), Tasa de Descuento Social (14%)		15,4%
Inversión en Infraestructura (20%), Viajeros del Metro (-30%)		12,8%

### 3. DATOS DE PARTIDA EMPLEADOS EN LA ACTUALIZACIÓN DEL MODELO

Los datos utilizados para la proyección de demanda fueron extraídos del [Estudio de Movilidad y Demanda de la Línea 1 del Metro realizados por Metro de Madrid en 2010](#). Para el cálculo de los beneficios económicos y otros insumos relativos a la simulación del modelo económico se tomaron datos del [Estudio de Viabilidad Socio Económica realizado por Metro de Madrid en 2010](#), el cual a su vez se basa en datos correspondientes del Estudio de Demanda de Transporte en el DMQ realizado por Cal y Mayor y Asociados en Agosto de 2008.

La demanda estimada del metro fue desagregada según los siguientes viajes:

- Pasajeros atraídos de vehículos privado y taxi
- Pasajeros atraídos del transporte público colectivo
- Viajes nuevos generados

Se estimaron los recorridos medios y velocidad en las situaciones con y sin proyecto. A partir de esta simulación se derivaron: los beneficios por ahorro en tiempos de viaje; la reducción en el flujo vehicular (vehículos-kilómetro) con los respectivos menores Costos de Operación Vehicular, Mitigación en la congestión vehicular (aumento en velocidad), Consumo de combustible y emisión de contaminantes.

Para la evaluación beneficio/costo el modelo actual empleó la información disponible del estudio de Viabilidad Socio Económica realizado en 2010 donde se estimaba la demanda del metro y los indicadores de tiempos de viaje y vehículos-kilómetro de entrada en operación en 2016. En este sentido las estimaciones del modelo actual para la nueva puesta en marcha del metro en 2020 corresponden a aquellas a las realizadas por el estudio original para 2016. En principio, entre 2016 y 2020, habrá aumentado el número de viajes

<sup>2</sup> En los escenarios con proyecto no se han considerado los beneficios y costos derivados de la reordenación del transporte colectivo en superficie, por exceder el ámbito del análisis.

<sup>3</sup> Revisión de la evaluación económica del proyecto Primera Línea del Metro de Quito. Versión 04, Septiembre 2012

en Quito y con ello la demanda potencial del metro y la generación de beneficios económicos. Este supuesto deriva en una posible subestimación de los beneficios reales del proyecto. Los parámetros de movilidad y su efecto en la demanda y beneficios del proyecto se mantuvieron constantes.

En la actualización del modelo, se incluyó una estimación, ausente del modelo original, del beneficio económico asociado a la reducción de la polución por material particulado. La reducción en emisiones ambientales se estima a partir del volumen de vehículos-kilómetros evitados y reducción en el consumo de combustibles. En la actualización del estudio se mantuvo el volumen de toneladas año evitadas, pero se cambió el valor económico del efecto en cambio climático. Para el cálculo de dicho valor se partió de 30USD/ton para 2020 aplicando posteriormente una tasa de crecimiento geométrica, de tal forma que para 2050 el valor converge a 50 USD/ton .

Para el cálculo del beneficio económico asociado a la reducción de la polución por material particulado se tomaron los escenarios de reducción de vehículos-kilómetro en buses y livianos Se aplicó la valoración de los papers Korzhenevychet al. (2014), “Update of the Handbook on External Costs of Transport. Final Report” y Castillo, J. J., & Behrentz, E. (2010) “Estimación de los beneficios en salud asociados a la reducción de la contaminación atmosférica en Bogotá”. Estos parámetros valoran el beneficio asociado a la reducción en los índices de mortalidad y morbilidad. Dichos parámetros están calibración para su aplicación en Colombia tal y como sigue: 0,0009 USD/km para vehículos privados y 0,06 USD/km para transporte público

#### 4. ACTUALIZACIÓN VALOR DE CAPEX

El modelo considera una actualización del CAPEX tal según la información provista por el Metro de Quito:

**Tabla 2: Actualización Evaluación Socio-Económica de la Primera Línea de Metro de Quito  
Cronograma CAPEX**

Año	2016	2017	2018	2019	Total
CAPEX (US\$ M.)	750	501	577	182	2,010

En el modelo se incluye el valor futuro de los desembolsos correspondientes a Fase 1 en el año base de análisis (2016), considerando la tasa de descuento. Se emplea la misma Razón Precio Cuenta del modelo original estimado en 1,03. Este factor recoge los subsidios a la energía eléctrica y los combustibles líquidos

#### 5. RESULTADOS DE LA ACTUALIZACIÓN DEL MODELO

De acuerdo con la actualización del modelo, el proyecto es positivo desde el punto de vista económico y social, considerando el incremento en el costo de inversión resultante del proceso de selección competitivo con respecto a la estimación original. En efecto, tal y como

muestra la Tabla 3, para el OPEX actual, el cual se basa en la estimación de los estudios originales de Metro, el proyecto arroja un valor presente neto de US\$ 427 M, una TIR del 13,7% un relación B/C de 1,2.

**Tabla 3: Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Relación Beneficio Costo (B/C) del Proyecto Actual**

Indicador	OPEX Escenario 1 (Estudio Actual)
VPN	US\$ 427 M.
TIR	13.70%
B/C	1.20

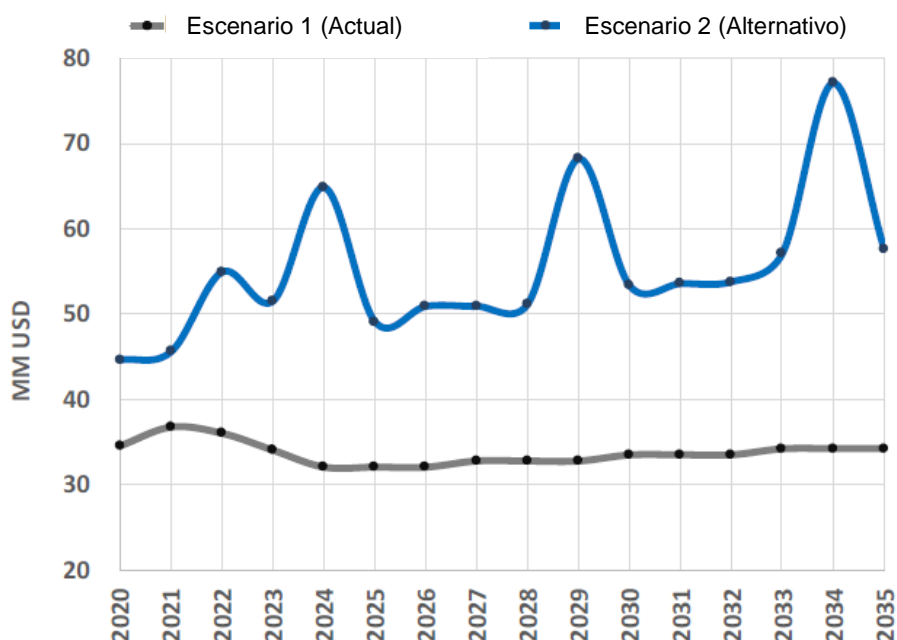
## 6. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Se realizaron análisis de sensibilidad considerando variaciones en CAPEX actual y la demanda sobre dos escenarios de OPEX:

- Escenario 1 (Actual): corresponde a la estimación original de los gastos de Administración, Operación y Mantenimiento (AOM) del proyecto. Para hacer este escenario compatible, los valores se expresaron en dólares constantes de 2016. Se expresaron los valores a dólares constante de 2012 con la inflación esperada cuando se hizo la proyección. Se indexaron los valores constantes de 2016 con la inflación observada de Estados Unidos
- Escenario 2 (Alternativo): considera los costos estimados en “Evaluación de Alternativas y diseño del modelo de explotación de la primera línea del Metro de Quito” por Steer Davies & Gleave (SDG), entregado el 21 de junio de 2017. El modelo está estructurado en dólares constantes de 2016

Se emplea la misma Razón Precio Cuenta del modelo original estimado en 1,03. Este factor recoge los subsidios a la energía eléctrica y los combustibles líquidos

**Figura 1**  
**Escenarios OPEX considerados en la Actualización del Análisis Costo Beneficio Ex-Ante del Sistema de Transporte Metropolitano de Quito (2018)**



Sobre los escenarios OPEX considerados se incrementó el valor del CAPEX actual en un 5% y 10%. En ambos casos el VPN del proyecto resulta positivo. En el caso de considerar el OPEX actual, sería necesario un incremento del valor del CAPEX de al menos 23.1% para que el proyecto tenga un VPN negativo. En el caso de considerar el OPEX alternativo, dicho punto de equilibrio correspondería con un incremento en el CAPEX del 16.7%.

**Tabla 4: Análisis de sensibilidad variando CAPEX y OPEX.**

Indicador	OPEX Escenario 1 (Estudio Actual)	OPEX Escenario 2 (Estudio Alternativo)
VPN (CAPEX Actualizado $\Delta$ 0%)	US\$ 427 M.	US\$ 308 M.
VPN (CAPEX +5%)	US\$ 335 M.	US\$ 216 M.
VPN (CAPEX +10%)	US\$ 242 M.	US\$ 123 M.
Break even point VPN=0 OPEX Escenario 2	N/A	+16.7%
Break even point VPN=0 OPEX Escenario 1	+23.1%	N/A

El mismo ejercicio se fue realizado considerando variaciones en demanda. Considerando decrementos del 5% y 10% de la demanda el proyecto continua arrojando VPN positivos.

En el caso de considerar el OPEX actual, sería necesario un decremento de la demanda de al menos 17.7% para que el proyecto tenga un VPN negativo. En el caso de considerar el OPEX alternativo, dicho punto de equilibrio correspondería con un decremento de la demanda del 12.8%.

**Tabla 5: Análisis de sensibilidad variando la Demanda y OPEX.**

Indicador	OPEX Escenario 1 (Estudio Actual)	OPEX Escenario 2 (Estudio Alternativo)
<b>VPN (Demanda Actualizada <math>\Delta</math> 0%)</b>	US\$ 427 M.	US\$ 308 M.
<b>VPN (Demanda -5%)</b>	US\$ 307 M.	US\$ 188 M.
<b>VPN (Demanda -10%)</b>	US\$ 187 M.	US\$ 68 M.
<b>Break even point VPN=0 OPEX Escenario 2</b>	N/A	-12.8 %
<b>Break even point VPN=0 OPEX Escenario 1</b>	-17.7 %.	N/A

## 7. ANÁLISIS ADICIONALES

Como análisis complementario, se consideraron tres metodologías diferentes para realizar la estimación del valor del tiempo. También se utilizaron tres metodologías para realizar la estimación de la Tasa de Descuento. Tanto para la estimación del valor del tiempo como para la estimación de la Tasa de Descuento se incluyeron las metodologías empleadas en el estudio de original de viabilidad socio-económica.

Respecto a la estimación del valor del tiempo fueron consideradas las siguientes metodologías:

- Metodología 1 (Estudio original). En el estudio del Metro de Madrid se adoptó una aproximación del costo de oportunidad del tiempo, basada en los ingresos reportados por quintiles en la Encuesta de Hogares del INEC desagregando el valor del tiempo en dos grupos: Pasajeros atraídos del Transporte Público Colectivo (TPC) con 1,91 USD/h (promedio quintiles 1, 2 y 3) y Pasajeros atraídos del Transporte Privado (TPC) con 4,53 USD/h (promedio quintiles 4 y 5).
- Metodología 2 (Gwilliam): Aplicando la metodología Gwilliam (1997)<sup>4</sup>, a partir del costo de oportunidad por quintil, y considerando que el 38% de los viajes del metro tienen como motivo “trabajo” y el 62% restante “otros motivos” se obtuvo el valor del tiempo de los pasajeros atraídos del Transporte Público Colectivo (TPC) en 1,32 USD/h; y el de los pasajeros atraídos del Transporte Privado (TPC) en 3,14 USD/h

<sup>4</sup> Gwilliam, K. (1997). The Value of Time in Economic Evaluation of Transport Projects. Infrastructure Note OT-5. Washington DC: World Bank

- Metodología 3 (Encuestas preferencia declarada): Recientemente un estudio de SDG<sup>5</sup> mediante encuestas de preferencias declaradas, estimó el valor del tiempo para Quito, con los siguientes valores: Pasajeros atraídos del Transporte Público Colectivo (TPC): 0,83 USD/h; Pasajeros atraídos del Transporte Privado (TPC): 1,81USD/h

Para la estimación de la Tasa de Descuento, fueron consideradas las siguientes metodologías:

- Metodología A (Estudio original): Siguiendo la tasa establecida en el Estudio socio-económico original en este escenario se descuentan los flujos con una tasa social del 12%. Esta tasa se obtuvo con la metodología tradicional de Harberger.
- Metodología B (Referente Perú): El BID, en el estudio “Time Goes By: Recent Developments on the Theory and Practice of the Discount Rate” (2015), sugiere la importancia de revisar las tasas de descuento en los países en desarrollo, y plantea una metodología de cálculo. En recientes revisiones, México la situó en 10%, Perú en 9% y Chile en 6%. Bajo este escenario se tomó como referente la tasa de descuento calculada para Perú (9%).
- Metodología C (Ramsey): Recientemente el Banco Mundial en el estudio “Discounting Costs and Benefits in Economic Analysis of World Bank Projects” (2016), aplicó una nueva metodología para estimar la tasa social de descuento a partir de la función de utilidad agregada de Ramsey. Con esta aproximación, se estimó la tasa social para Ecuador en 4,65%.

Los resultados obtenidos al variar las metodologías empleadas se muestran en la Tabla 7. Se analizaron un total de 18 escenarios. Los resultados son robustos en todos los escenarios, con excepción de: Valoración del tiempo utilizando la metodología GWilliam con tasa de descuento del 12%; Valoración del tiempo de las Encuestas preferencia declarada con tasas de descuento mayores al 9%. En total un 66.7% de los escenarios analizados arrojaron una relación coste-beneficio positiva

---

<sup>5</sup> Steer Davies and Gleave (SDG). (2017). Evaluación de alternativas y diseño del modelo de explotación de la primera línea del Metro de Quito. Empresa Pública Metropolitana Metro de Quito - EPMMQ. Bogotá: SDG.

**Tabla 7: VPN según distintas metodologías para la obtención del valor del tiempo y la tasa de descuento del modelo**

Valor del tiempo	Estudio original <sup>6</sup>			Metodología Gwilliam <sup>7</sup>			Encuestas preferencia declarada <sup>8</sup>		
Tasa de descuento	12,0%	9,0%	4,65%	12,0%	9,0%	4,65%	12,0%	9,0%	4,65%
VPN según OPEX actual (US\$ millones)	427	1.601	5.387	-204	628	3.335	-762	-235	1.508
VPN según OPEX alternativo (US\$ millones)	308	1.426	5.046	-323	453	2.994	-881	-410	1.167

## 8. CONCLUSIONES

La presente evaluación socioeconómica de la Primera línea de Metro de Quito actualizó el cronograma y valor del CAPEX, las variables macroeconómicas del modelo e introdujo beneficios asociados a la reducción de la polución. De acuerdo con la actualización del modelo, el cual utiliza los mismos parámetros de valor del tiempo, costos de operación (OPEX) y tasa de descuento del modelo original (12%), el proyecto continúa siendo viable desde el punto de vista económico y social considerando los incrementos en el valor de los costos de inversión (CAPEX). El proyecto arroja un valor presente neto (VPN) de US\$427 millones, una TIR del 13,7% y una relación beneficio costo de 1,2. En el análisis de sensibilidad del VPN, se variaron el CAPEX, OPEX y la demanda obteniendo un valor positivo del VPN en la mayoría los escenarios considerados. Adicionalmente se analizaron distintas metodologías respecto a la estimación del valor del tiempo y la tasa de descuento. Este ejercicio resultó en 18 escenarios adicionales, de los cuales el 66.7% arrojaron una relación coste-beneficio positiva.

<sup>6</sup> Estudio Original: Valor del tiempo de pasajeros atraídos del Transporte Público Colectivo (TPC) 1,91 USD/h y de pasajeros atraídos del Transporte Privado (TPC) 4,53 USD/h

<sup>7</sup> Metodología Gwilliam: Valor del tiempo de pasajeros atraídos del Transporte Público Colectivo (TPC) 1,32 USD/h y de pasajeros atraídos del Transporte Privado (TPC) 3,14 USD/h

<sup>8</sup> Encuestas de preferencia declarada: Valor del tiempo de pasajeros atraídos del Transporte Público Colectivo (TPC) 0,83 USD/h y de pasajeros atraídos del Transporte Privado (TPC) 1,81USD/h